한국환경과학회 봄학술발표회 발표논문집 제12권(제1호), 117 - 121, 2003
Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, May. 16~17, 2003

OG3

생물막 연속회분식 반응기를 이용한 영양염류의 동시제거에 관한 연구

박민정*, 김동석
대구가톨릭대학교 환경과학과

1. 서 론

현재 하·폐수내의 질소 및 인과 같은 영양염 제거방법으로 대규모 하수처리시설에는 Modified Bardenpho 공정, Phoredox 공정, UCT 공정, VIP 공정 등과 같은 기술들이 개발되어 설치·운영되고 있다. 그러나 이 공정들은 복잡한 공정의 배치와 고도의 기술을 필요로 하며, 그에 따른 설치비용이 많이 소요되기 때문에 중·소규모 오수처리시설에서는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

최근 하나의 반응기 내에서 혐기, 호기, 무산소 조건을 적절히 변화시켜 경제적이고 효율적인 유기물 및 질소·인의 제거를 위한 연속회분식 반응기를 활용하려는 연구도 진행되고 있다. Arora 등은 미국, 캐나다, 호주에서 설치·운영되고 있는 SBR의 현장을 방문하여 조사한 결과 다양한 처리목적에 맞게 성공적으로 운전되고 있음을 보여준바 있다. 이 보고서에 나타난 자료에 의하면 하나의 반응기 내에서 호기 조건과 무산소 조건을 조성하여 유기물 뿐 아니라 질소 및 인 성분들의 제거가 가능하다는 것을 보여주고 있으며, 또한 외국의 경우 처리시설을 소규모화하고 분산화시키는 경향이 나타나면서 중소도시 등에서 SBR 공정을 많이 실용화하고 있다.

하나의 반응기에서 운전이 가능하기 때문에 반응기 용적을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 구조가 단순하여 설비비 및 유지관리비가 적게 소요되는 장점이 있다. 또한 충격부하에 대한 적응력이 좋고, 슬러지 팽화현상이 없으며, 고농도의 MLSS 유지가 가능하다. 무엇보다 모든 단위공정 및 조작을 하나의 반응조에서 시간적으로 배열한 공정으로 포기 또는 교반의 시간 배분을 처리 수량 및 목적에 따라 변화시킬 수 있는 융통성을 가지는 장점이 있다.

SBR 공정을 대상으로 한 기존의 연구들은 주로 질소와 인을 동시제거하기 위한 운전형태의 결정, 유기물 및 질소와 인의 부하영향, 인의 대사과정, 슬러지의 침전성 등을 중심으로 고찰되어 왔다.

처리공정은 부유식 성장(suspended growth)과 부착식 성장(attached growth)으로 나눌 수 있으며, 생물막을 이용한 하-폐수의 처리는 미생물들이 고정상 또는 이동상의 매질에 부착하여 형성된 생물막(Biofilm)을 이용하여 처리하는 방법이다. 본 연구에서는 기존 하수처리장의 활성슬러지를 이용하여, SBR 운전방식을 고정 생물막에 적용시킨 SBBR 공정방식의 연구를 수행하였다. 고정 생물막 반응기의 경우 지지매체(media)에 생물막이 형성되므로 부유성 활성슬러지 공정과는 달리 슬러지 팽화현상으로 인한 슬러지 부상이 없으며, 단위체적당 미생물 농도를 높게 유지할 수 있고, 슬러지 자기 산화가

촉진되기 때문에 슬러지 발생량이 적은 장점이 있다. 또한 소규모 오수처리시설에 적용시켰을 때 구조적 변경없이 생물막을 간단히 설치하여 운전이 용이할 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 유기물과 질소·인의 제거특성을 효과적으로 조사하기 위해 부유 방식의 SBR과 생물막 방식의 SBBR의 2가지 운전방식으로 실험하여 유기물 제거, 질산화 및 탈질, 인의 방출 및 섭취에 대한 비교 연구를 수행하여 SBBR의 오수처리에 대한 적용 가능성을 평가하였다.

2. 실험방법 및 재료

반응조는 2개를 설치하여 운전하였는데, 크게 부유상 미생물을 이용하는 SBR공정과 생물막을 도입한 SBBR로 대별할 수 있다. 유입 후 최대 유효 용적을 6 L, 유출 후 최소 유효 용적을 3 L로 하였으며, 1주기를 12시간으로 하여 1일 2주기로 반복 운전하였다.

본 실험에 사용된 합성폐수는 bacto-peptone과 Glucose를 탄소원으로 사용하였으며, 주요 질소와 인은 각각 $(NH_4)_2SO_4$과 K_2HPO_4에 의해 구성되었으며, 기타 각종 미량원소로 구성되었으며, 사용된 메디아는 비표면적이 89~223 m^2/m^3인 polyvinylchloride 재질의 그물상 여재로 5 × 18 × 20 cm의 크기로 잘라서 겉보기 용적으로 반응기 용적의 약 20 %가 되도록 충진시켰다.

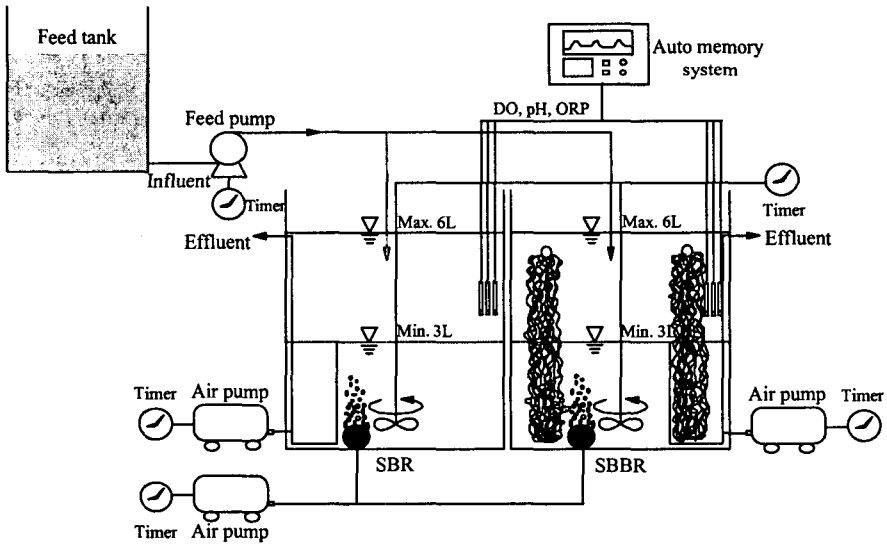

Fig. 1. Schematic diagram of SBR and SBBR system.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 제거

SBR의 경우 포기가 시작되면서 TOC의 감소는 급격하게 이루어져 2시간의 포기 기간 동안 33 mg/L에서 17 mg/L로 약 16 mg/L가 감소하여 48 mg TOC/h의 제거속도를 나

타내었고, 전 cycle동안 TOC가 감소되는 양의 약 70% 가량을 차지하였다. 이는 일반 호기성 종속영양 미생물(heterotrophic biomass)에 의한 유기물 소비에 의한 것으로 보여진다. 반면에 SBBR의 경우에는 32.5 mg/L에서 21 mg/L로 약 11.5 mg/L가 감소함으로써 제거속도가 34.8 mg TOC/h로 전 cycle동안의 TOC 농도 감소의 약 45% 가량만이 감소하였다. 이것은 SBR 공정이 SBBR 공정에 비해 미생물이 부유됨으로써 유기물에 대한 미생물의 접촉기회에 있어서 우위를 차지하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

SBR의 경우 2차 비포기 기간에서도 마찬가지로 유기물이 계속적으로 감소하는데 그 제거속도는 전 단계인 포기기간의 48 mg TOC/h과 비교해 볼 때 약 5 mg TOC/h로 매우 낮게 나타났다. SBBR의 경우에서도 마찬가지로 포기 기간의 34.5 mg TOC/h의 감소속도도 비해 약 매우 낮은 8.5 mg TOC/h로 나타났다. 전체적인 유기물 제거 효율은 SBR과 SBBR 모두 약 83 %로 나타났다.

3.2. 질소 제거

비포기 상택로 유지된 유입기간동안 SBR의 경우 초기 비포기 기간 동안 암모니아성 질소의 제거속도는 약 2.4 mg NH_4^+-N/h로 나타났다. 이는 NH_4^+-N를 세포내 조직의 성장을 위한 동화작용에 이용한 것으로 생각된다. 이것은 SBBR에서도 마찬가지로 약 5.7 mg NH_4^+-N/h의 NH_4^+-N 제거속도를 나타내어, SBR과 비교해 볼 때 약 2배 이상의 NH_4^+-N의 제거속도를 나타내었다. 유입기간 30 분동안 SBR은 1.7 mg NO_3^--N/L, SBBR은 0.2 mg NO_3^--N/L로 NO_3^--N의 농도가 감소하는데, 이는 순수한 희석효과에 의한 질산성 질소 농도 값인 SBR의 3.5 mg NO_3^--N/L와 SBBR의 1.5 mg NO_3^--N/L보다 더 낮은 값이다.

포기 기간동안 SBR과 SBBR 모두 원활한 질산화 반응을 보였는데, 포기가 시작되면서 NO_2^--N가 증가되기 시작하여 1시간만에 최대 지점(0.7~0.8 mg NO_2^--N/L)에 도달한 다음 감소하는 것으로 나타났다.

SBR의 질산화 속도 19.8 mg NH_4^+-$N_{removed}$/h가 SBBR의 질산화 속도 9.9 mg NH_4^+-$N_{removed}$/h에 비해 2배 이상 정도 큰 것을 알 수 있는데, 이는 SBR이 SBBR에 비해 유기물과 용존산소의 접촉에 있어 훨씬 유리한 조건에 있기 때문인 것으로 판단된다.

SBR에서 1차 포기 기간동안의 DO 변화는 최대 4 mg/L로 상승했으며, 초기 30분 동안 DO 3.3 mg/L로 빠르게 상승하다가, 1시간 30분 동안에는 약 1 mg/L만 상승하는데 그쳤다. 이는 포기기간 초기에 질산화 미생물의 활발한 활동과 호기성 종속영양 미생물의 DO소비에서 비롯된 것으로 보여진다(Fig. 4(A-2)). 반면에 SBBR에서의 DO 변화는 SBR의 경우와는 달리 초기부터 약 3 mg/L 농도로 일정하게 유지되고 있다(Fig. 4(B-2)).

포기 기간이 끝난 다음, 비포기 기간 초기 30분동안 SBR과 SBBR 모두 약 0.5 mg NO_3^--N/L의 NO_3^--N 농도의 추가적인 증가가 나타났으며, 비포기가 시작된 후 약 30분이 경과되면 SBR의 경우 DO 농도가 완전한 0 mg/L로 떨어져 탈질반응이 시작된다. 반면에 SBBR의 경우 전 비포기기간 동안에 DO농도는 완전히 0 mg/L로 떨어지지 않고

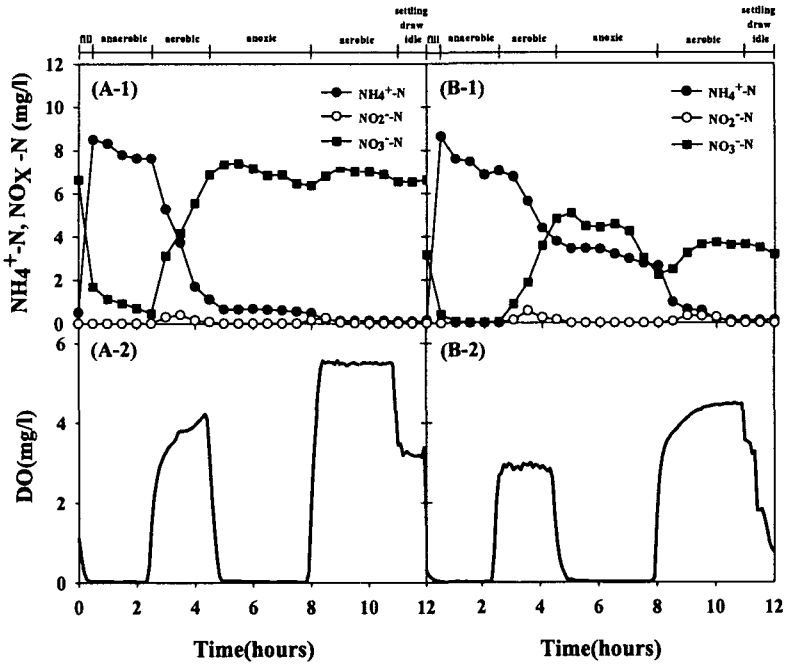

Fig. 2. Typical profiles of NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N and DO concentrations in SBR and SBBR.

0.01～0.3 mg/l로 유지되었다.

2차 포기 기간동안에는 잔류된 NH_4^+-N의 질산화반응이 일어났다. 이 기간에 일어나는 질산화 속도는 SBR과 SBBR 각각 1.2, 6.9 mg NH_4^+-N/h로 1차 포기기간의 질산화 속도 19.8, 9.9 mg NH_4^+-N/h보다 매우 낮게 나타났고 전체적으로 SBBR의 질산화 속도가 SBR에 비해 높은 것으로 나타났다.

3.3. 인 제거

전반적인 인 제거 거동은 SBR과 SBBR 모두에서 원활하지 못하여 인의 제거효율은 매우 낮았는데, 이는 인 제거 미생물들이 질산화 및 탈질화 미생물들에 비해 적응 능력이 떨어져 인 방출 및 섭취 활동이 잘 일어나지 않은 것으로 판단된다.

1차 비포기 기간동안 SBR과 SBBR을 비교해 보면 SBR은 PO_4^{3-}-P의 변화가 거의 없는 반면에, SBBR의 경우 약 12.5 mg PO_4^{3-}-P/L에서 15.5 mg PO_4^{3-}-P/L로 인의 농도가 증가하는 인 방출이 발생했다.

2차 비포기기간과 포기기간동안 SBR과 SBBR 모두 PO_4^{3-}-P의 방출과 섭취 반응이 일어나지 않았다. 이것은 유입시에 비해 PO_4^{3-}-P 방출에 필요한 유기물이 앞단계에서 대부분 소비되어 PO_4^{3-}-P 방출에 필요한 유기물이 부족하였을 뿐만 아니라, 비포기기간 중 높은 NO_3^-의 존재로 인한 저해작용에 기인한 것으로 추측된다.

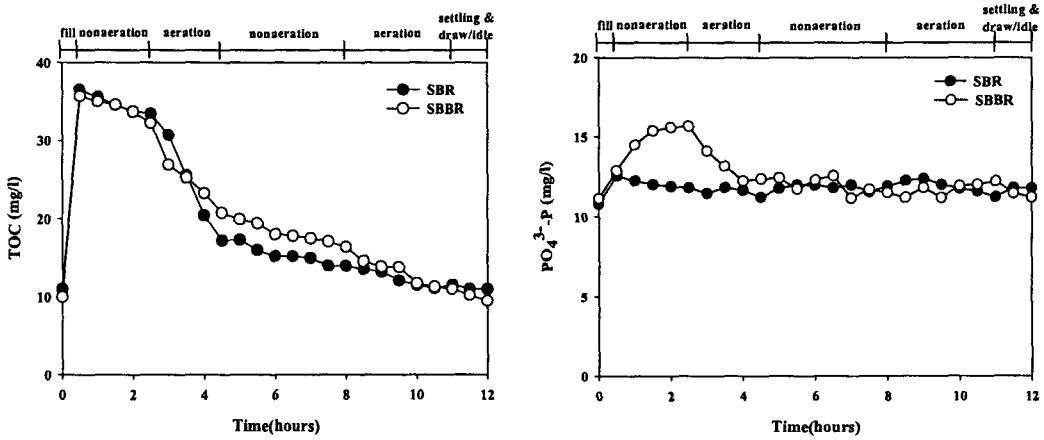

Fig. 3. Typical profiles of TOC and PO_4^{3-}-P concentrations in SBR and SBBR.

4. 요 약

SBR과 SBBR 모두 대부분의 유기물은 포기기간에 소모되었으며, SBBR의 경우 부족한 유기물 조건에서도 원활한 탈질화 반응이 일어난 것을 볼 때, 유기물 농도가 낮은 우리나라의 하수에 적합한 공정으로 생각된다.질산화 속도에 있어서는 유기물과 용존산소의 접촉기회에 있어 유리한 조건을 가진 SBR이 더 크게 나타났다. 그러나 탈질화 반응에 있어서는 SBBR이 더 높은 것으로 나타났다. SBR의 경우 높은 NO_3^-의 존재로 인해 1차 비포기 기간중 인의 방출은 거의 발생하지 않았으나, SBBR의 경우 1차 비포기 기간에 인 방출과 1차 포기기간에 인 섭취가 일어났다.

참 고 문 헌

Arora, M. L., Barch, E. F. and M. B. Umphres., 1985, "Technology evaluation of sequencing batch reactor", J. WPCF, 57(8), 867~875

이태진, 안수정, 2002. Pilot Scale 연속회분식 반응장치에서 내부순환에 따른 영양염류제거 효율에 관한 연구, 대한환경공학회지, 24(7), 1283-1290,

문병현, 윤조희, 서규태, 김상수 2002, SBR에서 염분농도와 C/N비가 오염물질의 제거에 미치는 영향, 대한환경공학회, 24(2), 251-260,

Hascoet, M. C., Florentz, M. and Granger, P.1985 Biochemical axpects of enhanced biological phosphorus removal from wastewater, Wat. Sci. Tech., 17, 23-41.

김동석, 1994, 유기성 폐수처리를 위한 역 유동층 생물막 반응기의 연구, 부산대학교박사학위논문,